

DETEKSI TUMPAHAN MINYAK DI SELAT MAKASSAR DENGAN PENGINDERAAN JAUH SENSOR AKTIF DAN PASIF

Ratna Prastyani¹, Abdul Basith¹

¹Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No. 2, Bulaksumur, Yogyakarta. Indonesia 55281, email: ratna.prastyani@mail.ugm.ac.id

(Diterima 14 Mei 2019, Disetujui 30 Juni 2019)

ABSTRAK

Berada pada posisi yang strategis, perairan Indonesia dikenal dengan lalu lintas laut yang cukup padat dimana hal ini membawa keuntungan sekaligus ancaman. Tingginya lalu lintas laut di beberapa perairan Indonesia membuka peluang besar terhadap terjadinya pencemaran laut berupa tumpahan minyak. Tumpahan minyak tersebut bisa berupa tragedi tumpahan minyak yang bersumber dari *oil platforms* maupun tumpahan minyak dari sisa operasi rutin kapal. Tulisan ilmiah ini membahas penggunaan satelit penginderaan jauh (inderaja) sensor aktif dan data pendukung dari inderaja sensor pasif untuk melakukan deteksi tumpahan minyak khususnya di selatan Selat Makassar. Kondisi Selat Makassar yang sangat dinamis membawa tantangan tersendiri dalam proses pendeteksian tumpahan minyak. Pendeteksian minyak dilakukan pada citra radar Sentinel-1. Pada citra Sentinel-1, ditemukan banyak objek yang menyerupai tumpahan minyak (disebut sebagai *look-alike*) akibat dimanika laut di Selat Makassar. Variabel oceanografi dari satelit MODIS digunakan untuk mendukung analisis terkait keberadaan dan sumber *look-alike*. Hasil penelitian ini menunjukkan sinergitas data inderaja sensor aktif dan pasif dalam mendeteksi dan menganalisis tumpahan minyak. Citra radar sebagai data utama terbukti efektif mendeteksi tumpahan minyak terutama di wilayah tropis. Sementara itu juga terdapat urgensi data pendukung lain seperti kecepatan angin, suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-A untuk membedakan objek tumpahan minyak dan *look-alike* pada citra radar.

Kata kunci : *tumpahan minyak, Sentinel-1, MODIS, Selat Makassar*

ABSTRACT

Being in strategic location, Indonesian waters are known for heavy marine traffic which brings various advantages and also poses a threat. Heavy marine traffic poses a serious threat for oil pollution. Oil pollution encountered on the ocean can originate from oil platforms or illegal oil discharges from ship routine operations. This paper discusses the utilisation of remotely sensed data from both active and passive sensor to detect oil spill in Makassar Strait. The dynamic of Makassar Strait has brought several challenges for oil spill detection task. Oil spill detection was performed on Sentinel-1 radar imagery. Sentinel-1 observed several objects looking similar to oil spill or called look-alike due to the dynamic of Makassar Strait. Oceanographic variables from MODIS were used to perform further analysis of the origin of look-alikes. The results show the synergy between active and passive remotely sensed data for oil spill detection. SAR imagery has been proved to be effective for oil spill detection, particularly in the tropic region. On the other hand, auxiliary data such as wind speed, sea surface temperature and chlorophyll-A concentration play critical role for further analysis to distinguish oil spill and look-alike on SAR imagery.

Keywords : *oil spill, Sentinel-1, MODIS, Makassar Strait*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan aktifitas pelayaran yang tinggi, baik pelayaran domestik maupun internasional. Secara umum, Indonesia memiliki tiga alur pelayaran yang disebut sebagai Alur Kepulauan Indonesia atau

ALKI. ALKI dikenal sebagai jalur pelayaran dengan lalu lintas laut yang sangat tinggi, salah satunya ALKI II yang berada di Selat Makassar. Perairan Selat Makassar umumnya dilalui oleh kapal-kapal *tanker* minyak (Bateman, 2014). Selain tingkat lalu lintas laut yang tinggi, Selat Makassar juga dikenal dengan aktifitas tambang minyak lepas pantai.

Posisi yang strategis dan potensi sumber daya alam berupa minyak bumi merupakan sebuah keuntungan bagi Indonesia, namun juga sebuah tantangan bagi ekosistem laut. Dengan adanya fakta terkait Selat Makassar yang telah disebutkan, hal ini jelas membawa potensi pencemaran ekosistem laut berupa tumpahan minyak. Tumpahan minyak di laut dapat berupa tumpahan minyak dari kegiatan pertambangan minyak, kecelakaan laut berupa kerusakan *oil platform* atau kecelakaan antar kapal maupun tumpahan minyak yang berasal dari operasi rutin kapal yang melintas (Gade dkk., 2006).

Berbagai metode dalam rangka pengawasan ekosistem laut dari pencemaran tumpahan minyak telah dilakukan. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan teknologi indera, baik sensor aktif maupun sensor pasif. Kedua jenis sensor tersebut juga dapat saling bersinergi dalam melakukan proses deteksi tumpahan minyak di wilayah perairan (Bayramov dkk., 2018; Girard-ardhuin dkk., 2005). Penelitian ini bertujuan untuk mendemonstrasikan penggunaan data indera sensor aktif dan data turunan dari sensor pasif yang saling bersinergi dalam proses deteksi dan analisis tumpahan minyak.

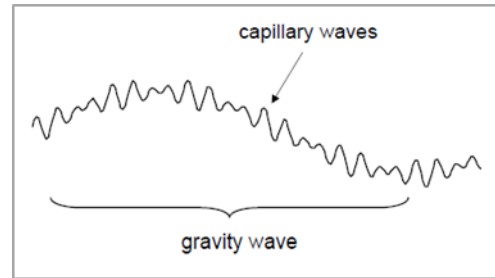
2. DETEKSI MINYAK PADA CITRA SATELIT

2.1 Konsep Deteksi Minyak pada Citra Radar

Citra satelit yang umumnya digunakan untuk mendeteksi tumpahan minyak adalah citra radar atau SAR (*Synthetic Aperture Radar*). Citra radar memiliki beberapa keunggulan dibandingkan citra optis dari sensor pasif seperti kemampuan citra radar untuk melakukan akuisisi data secara independen dari kondisi cuaca dan kemampuan akuisisi pada siang maupun malam hari. Di wilayah tropis seperti Indonesia, citra radar merupakan alternatif yang sangat berperan signifikan dalam penyediaan data observasi yang dapat menembus awan.

Konsep dasar deteksi tumpahan minyak di perairan pada citra radar berkaitan erat dengan dinamika laut dan mekanisme penghamburan sinyal radar (*backscattering*). Secara umum, mekanisme *backscattering* sinyal radar di laut tidak terlepas dari gelombang (Culander dan McDonough, 1991). Sinyal radar dihamburkan oleh permukaan laut yang terdiri dari gelombang-gelombang yang disebut *capillary waves* dan *gravity waves*. Kedua jenis gelombang tersebut terbentuk karena adanya interaksi antara massa air dengan angin. Thorpe (2009) menyebutkan bahwa diperlukan angin dengan kecepatan antara minimal

1 - 2 m/s untuk membentuk *capillary waves*. Sementara itu, *gravity waves* terbentuk akibat dari pertumbuhan *capillary waves* (Gambar 1).



Gambar 1. *Capillary dan gravity waves* (Richards, 2009)

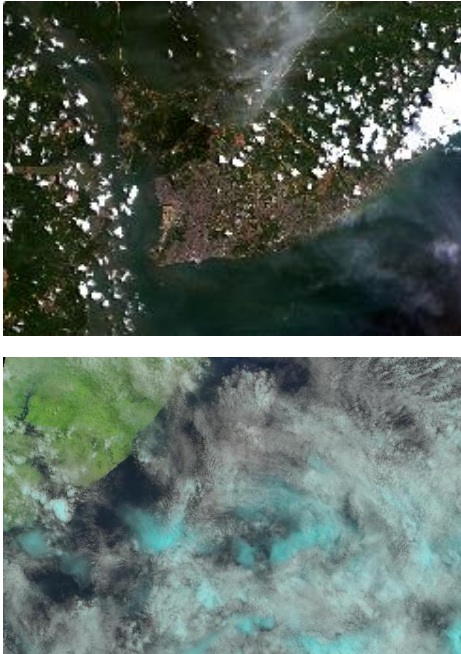
Keberadaan tumpahan minyak mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan laut. Tumpahan minyak akan menindih *capillary* atau *gravity waves* dan mengurangi tingkat kekasaran permukaan laut. Dengan permukaan yang relatif lebih rata dibandingkan sekitarnya, area dengan tumpahan minyak tersebut akan memiliki hamburan balik (*backscatter*) yang lebih rendah. *Backscatter* yang rendah tersebut akan tampak gelap pada citra radar. Namun demikian, area gelap di perairan pada citra radar tidak selalu mengindikasikan keberadaan tumpahan minyak. Area gelap yang menyerupai tumpahan minyak disebut sebagai *look-alike* dan merupakan tantangan utama dalam deteksi minyak pada citra radar. *Look-alikes* pada citra radar dapat berupa surfaktan alami yang dihasilkan *phytoplankton* maupun ikan, fenomena hujan, area dengan kecepatan angin rendah dan lain sebagainya (Alpers dan Espedal, 2004).

Deteksi tumpahan minyak pada citra radar dibatasi oleh kecepatan angin saat akuisisi citra. Pada kecepatan angin yang rendah, *backscattering* tidak terjadi karena tidak terbentuknya *capillary/gravity waves*, sehingga tampak area gelap yang dapat menyerupai tumpahan minyak. Di sisi lain, pada kecepatan angin yang tinggi, tumpahan minyak pada permukaan laut akan bercampur dengan air laut dan tenggelam ke dalam kolom air sehingga tidak terdeteksi pada citra radar. Disebutkan bahwa deteksi tumpahan minyak pada citra radar dapat dilakukan dengan kecepatan angin berkisar antara 2 – 14 m/s (Brekke dan Solberg, 2005; Jones, 2001; Topouzelis, 2008).

2.2 Deteksi Citra Satelit dengan Sensor Pasif

Seperti yang telah disebutkan, bahwa wilayah tropis seperti Indonesia memiliki tutupan awan yang tinggi. Dengan demikian, deteksi tumpahan minyak pada citra optis yang diakuisisi dengan

sensor pasif bukan merupakan pilihan yang tepat (Gambar 2). Namun, hal ini bukan berarti bahwa data indera sensor pasif tidak dapat digunakan dalam deteksi minyak, hanya saja data dari sensor pasif tersebut tidak digunakan sebagai data utama melainkan sebagai data tambahan yang mendukung analisis deteksi tumpahan minyak pada sensor aktif, seperti radar.



Gambar 2. Keberadaan awan saat terjadinya tumpahan minyak di Teluk Balikpapan terekam pada citra optis Sentinel-2 tanggal 3 April 2018 (atas) dan citra Landsat-8 tanggal 7 April 2018 (bawah).

Dari citra optis oleh sensor pasif dapat diperoleh data turunan berupa variabel oceanografi yang dapat menunjang proses deteksi tumpahan minyak seperti suhu permukaan laut (*Sea surface temperature*, SST) dan konsentrasi klorofil-A. Diketahui bahwa tumpahan minyak umumnya mampu menyerap panas dan meningkatkan suhu permukaan laut (Xing dkk., 2015)

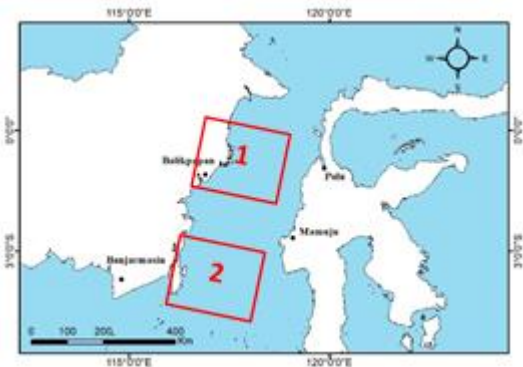
Data terkait suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-A juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi *look-alike*. Dikatakan bahwa surfaktan alami dapat menyerupai tumpahan minyak pada citra radar (Alpers dan Espedal, 2004). Surfaktan alami tersebut dihasilkan oleh aktivitas biologi oleh ikan maupun *phytoplankton*. Hal ini dapat dianalisis berdasarkan tingkat klorofil-A yang tinggi (Alpers dkk., 2017).

Wilayah dengan aktifitas biologi yang tinggi juga dapat terindikasi melalui suhu permukaan laut yang rendah dimana terjadi proses *upwelling*. Proses *upwelling* membawa nutrisi dari dasar laut ke permukaan sehingga meningkatkan aktifitas biologi di lapisan atas kolom air (Talley dkk., 2011).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Dalam eksperimen ini, melibatkan dua area studi yang berada di perairan Selat Makassar (Gambar 3). Citra Sentinel-1 yang merekam kejadian tumpahan minyak di Teluk Balikpapan turut disertakan dalam eksperimen ini (Lokasi 1). Selain itu, sampel citra Sentinel-1 yang merekam fenomena *upwelling* di wilayah selatan Selat Makassar bagian selatan juga digunakan (Lokasi 2).



Gambar 3. Lokasi penelitian

3.2 Data

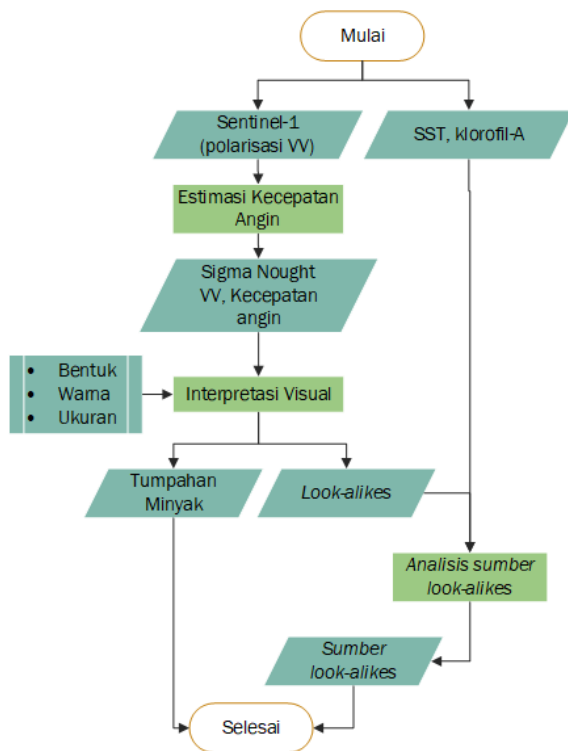
Dalam eksperimen ini digunakan data citra sensor aktif sebagai data utama dan beberapa produk turunan citra sensor pasif sebagai data tambahan (Tabel 1). Data sensor aktif yang digunakan adalah citra SAR Sentinel-1 dengan jenis produk *Ground Range Detected* (GRD). Sementara itu data tambahan sebagai pendukung yaitu variabel oceanografi berupa SST dan konsentrasi klorofil-A.

Tabel 1. Data penelitian

Data	Waktu Akuisisi	Lokasi
Sentinel-1	2 April 2018	1
	13 April 2018	2
	25 April 2018	2
Aqua MODIS	11, 13 April 2018	2

3.3 Metode

Penelitian ini mengadopsi teknik interpretasi visual dalam melakukan analisis deteksi tumpahan minyak maupun identifikasi *look-alikes*. Selain itu, data tambahan berupa kecepatan angin juga digunakan. Kecepatan angin diperoleh dengan melakukan proses *Wind Field Estimation* pada SNAP 6.04 (Misra dan Balaji, 2017). Secara umum, diagram alir penelitian diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

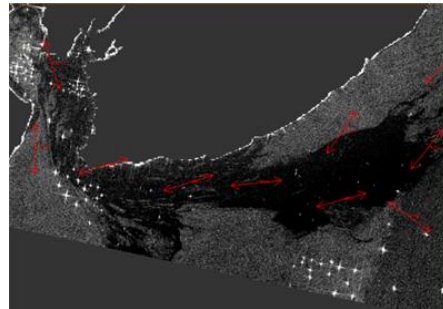
Seperti yang telah disebutkan bahwa mekanisme *backscattering* pada citra radar juga turut dipengaruhi oleh angin yang membentuk *capillary/gravity waves*. Beberapa metode telah dikembangkan untuk menginversikan *backscatter* dalam nilai *Normalised Radar Cross Section* (NRCS) untuk memperoleh kecepatan angin. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah berdasarkan model geofisika CMOD5 yang dikembangkan oleh *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), dimana model inilah yang diterapkan pada SNAP.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Lokasi 1

Deteksi tumpahan minyak dilakukan di dua lokasi penelitian, yaitu di Teluk Balikpapan dan di

sebelah selatan Selat Makassar. Tumpahan minyak yang terjadi di Teluk Balikpapan terdeteksi pada citra SAR Sentinel-1 dengan polarisasi VV dengan estimasi luas 19.759 Ha. Estimasi kecepatan angin di wilayah tumpahan minyak Teluk Balikpapan dilakukan dalam *window size* 5 km sehingga diperoleh vektor arah dan kecepatan angin. Perlu diperhatikan bahwa hasil estimasi kecepatan angin oleh SNAP tidak memberikan arah angin yang definitif atau dengan ambiguitas arah sebesar 180° , sehingga arah angin direpresentasikan dengan panah dua arah (Gambar 5). Arah angin secara definitif dapat ditentukan dengan data masukan tambahan seperti pengukuran *in-situ*.

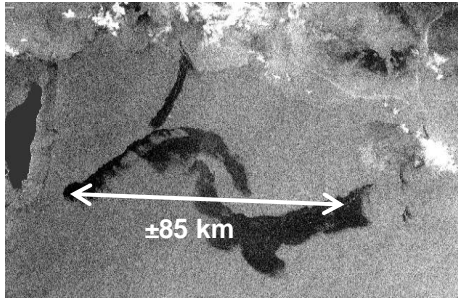


Gambar 5. Tumpahan minyak di Teluk Balikpapan pada citra Sentinel-1 (polarisasi VV) beserta hasil estimasi kecepatan dan arah angin (simbol panah merah)

Dari hasil estimasi kecepatan angin tersebut, diketahui bahwa area gelap yang merupakan tumpahan minyak memiliki kecepatan angin antara 1.9 – 7.9 m/s. Rentang ini masih sesuai dengan rentang yang disebutkan untuk melakukan deteksi tumpahan minyak pada citra SAR, hanya saja batas bawah kecepatan angin kurang dari 2 m/s. Namun selisih 0.1 m/s tersebut masih dapat dianggap tidak terlalu berbeda secara signifikan dari rentang yang umumnya digunakan.

4.2 Lokasi 2

Pada lokasi ini, citra Sentinel-1 berhasil merekam sebuah fenomena yang dicurigai merupakan surfaktan alami akibat *algae bloom*. Pada citra Sentinel-1 (akuisisi 13 April 2018) di lokasi 2 ditemukan area gelap dengan ukuran yang cukup besar dengan diameter ± 85 km (Gambar 6). Asumsi yang digunakan adalah area tersebut tidak mungkin merupakan pencemaran atau tumpahan minyak karena jika benar demikian, hal tersebut sudah akan dilaporkan oleh media. Namun kenyataannya tidak ada berita terkait pencemaran berupa tumpahan minyak pasca tumpahan minyak yang terjadi di Teluk Balikpapan.



Gambar 6. Fenomena yang diduga *algae bloom* pada citra Sentinel-1 pada akuisisi 13 April 2018.

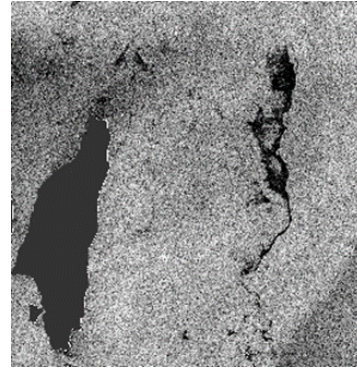
Dari hasil estimasi kecepatan angin yang dihitung per 5 km, diketahui bahwa area gelap pada Gambar 5 memiliki kecepatan angin berkisar 0.3 – 9.5 m/s. Permasalahan yang muncul adalah disebutkan bahwa surfaktan alami muncul pada area dengan kecepatan angin dibawah 5 m/s (Romano, 1996). Pada kecepatan angin yang semakin tinggi, surfaktan alami akan mudah terdisintegrasi dan larut kedalam laut. Hal ini menimbulkan pertanyaan terkait keakuratan estimasi kecepatan angin dalam eksperimen ini.

Estimasi kecepatan angin berdasarkan citra SAR merupakan pekerjaan yang kompleks. Sumber kesalahan estimasi biasanya berasal dari ketidakpastian arah angin, akurasi NRCS atau *sigma nought* yang diperoleh dari hasil kalibrasi atau *window size* yang didefinisikan oleh operator dalam proses perhitungan estimasi kecepatan angin (Horstmann dkk., 2000).

Selama ini, citra radar dikenal citra yang dapat menembus awan dan bahkan dianggap tidak terpengaruh oleh cuaca. Namun, pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa terdapat area putih terang menyerupai awan dan area gelap yang berada disekitarnya. Area gelap terang tersebut merupakan fenomena hujan yang terekam oleh SAR. Area terang merupakan efek *scattering* oleh *hydrometeor* yang berada di atmosfer, sementara area gelap merupakan fenomena hujan pada permukaan laut (Alpers dan Melsheimer, 2004). Sejauh ini, belum ada penelitian yang menguji akurasi hasil estimasi kecepatan angin dengan model CMOD5 di wilayah dengan tingkat presipitasi tinggi. Dengan demikian, ketidakakuratan kecepatan angin tersebut bisa jadi diakibatkan oleh dinamika atmosfer atau dalam kasus ini berupa tingkat presipitasi yang tinggi.

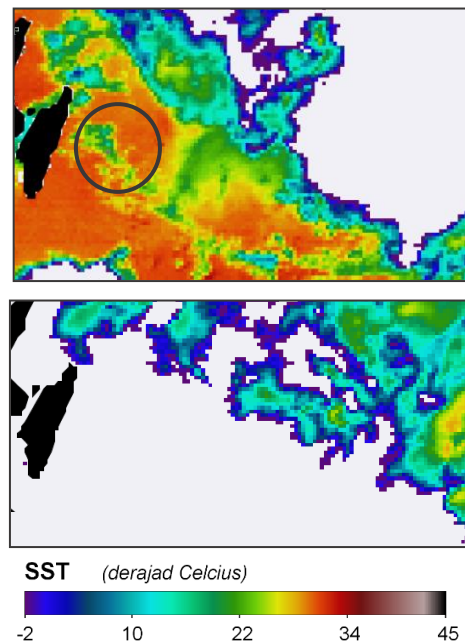
Sejauh ini, kandidat jenis *look-alikes* yang terekam pada citra Sentinel-1 tanggal 13 April 2018 adalah surfaktan alami atau hujan. Untuk menentukan hal tersebut, citra Sentinel-1 di lokasi yang sama dengan waktu akuisisi yang berbeda

yaitu 25 April 2018 digunakan untuk melihat jika terdapat ‘sisa’ area gelap yang terekam. Terbukti pada tanggal 25 April 2018 terdapat ‘sisa’ surfaktan alami yang telah terdisintegrasi dan berpindah ke sebelah barat laut (Gambar 7).



Gambar 7. Sisa surfaktan alami yang terdisintegrasi terekam pada citra Sentinel-1 tanggal 25 April 2018.

Untuk menguatkan argumen terkait jenis *look-alikes* berupa surfaktan alami, produk satelit Aqua MODIS digunakan dalam analisis. Data klorofil-A pada tanggal 13 April 2018 di area terduga terjadi *algae bloom* tidak dapat diakuisisi secara penuh dikarenakan oleh tutupan awan. Data klorofil-A dengan tanggal terdekat pun tidak tersedia. Oleh karena itu, analisis dilakukan berdasarkan data SST (Gambar 8) yang dapat mengindikasikan fenomena *upwelling*.



Gambar 8. SST pada tanggal 11 April 2018 (atas) dan 13 April 2018 (bawah)

Berdasarkan data SST pada tanggal 11 April 2018, suhu di wilayah terindikasi *upwelling* (lingkaran hitam pada Gambar 7) masih cenderung hangat ($15^{\circ} - 29^{\circ}\text{C}$) namun lebih rendah dibandingkan wilayah sekitarnya. Selanjutnya, SST pada tanggal 13 April 2018 kosong pada area terindikasi *upwelling* namun wilayah sekitarnya memiliki suhu yang rendah hingga mencapai -1°C . Hal ini mengindikasikan dengan kuat bahwa *look-alikes* yang terekam pada citra Sentinel-1 tanggal 13 dan 25 April 2018 merupakan surfaktan alami yang berasal dari fenomena *upwelling*.

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh, diketahui bahwasannya Selat Makassar memiliki tutupan awan tinggi dan diperlukan citra radar untuk mengatasi hal tersebut untuk pekerjaan deteksi tumpahan minyak. Di sisi lain, keberadaan objek *look-alikes* menjadi tantangan tersendiri dalam deteksi tumpahan minyak pada citra radar. Sinergitas antara data citra radar dan variabel oceanografi yang diturunkan dari citra optis sensor pasif diperlukan untuk mendukung deteksi dan analisis tumpahan minyak.

5. KESIMPULAN

Deteksi tumpahan minyak telah berhasil dilakukan dengan menggunakan data utama sensor aktif dari citra satelit Sentinel-1 SAR. Deteksi dan analisis disertai dengan data tambahan dari satelit sensor pasif Aqua MODIS. Teknik interpretasi visual diadopsi dalam melakukan deteksi dan analisis tumpahan minyak.

Dalam penelitian ini ditemukan beberapa kendala dalam pendeteksian tumpahan minyak di Selat Makassar yang memiliki tutupan awan tinggi. Bahkan citra SAR yang dianggap dapat melakukan akuisisi citra secara independen dari kondisi cuaca juga mengalami tantangan dalam proses akuisisi di wilayah dengan tutupan awan yang tinggi. Meskipun demikian, secara umum citra SAR berperan sangat penting dalam deteksi tumpahan minyak di wilayah perairan. Hasil penelitian juga menunjukkan pentingnya sinergitas antara citra radar dan data tambahan atau pendukung untuk menghindari adanya kesalahan deteksi tumpahan minyak pada citra radar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada *European Space Agency* (ESA) dan *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) yang telah menyediakan data citra Sentinel-1 dan produk Aqua MODIS dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alpers, W., and Espedal, H. . . (2004). "Oils and Surfactants." *Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual*, C. R. Jackson and J. R. Apel, eds., National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington DC., 263–276.
- Alpers, W., Holt, B., and Zeng, K. (2017). "Oil spill detection by imaging radars: Challenges and pitfalls." *Remote Sensing of Environment*, Elsevier, 2017–July(October 2016), 1522–1525.
- Alpers, W., and Melsheimer, C. (2004). "Rainfall." *Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual*, C. R. Jackson and J. R. Apel, eds., National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington DC., 523–528.
- Bateman, S. (2014). "Sea Lane Security." *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 6472(December), 17–27.
- Bayramov, E., Kada, M., and Buchroithner, M. (2018). "Monitoring oil spill hotspots, contamination probability modelling and assessment of coastal impacts in the Caspian Sea using SENTINEL-1, LANDSAT-8, RADARSAT, ENVISAT and ERS satellite sensors." *Journal of Operational Oceanography*, Taylor & Francis, 11(1), 27–43.
- Brekke, C., and Solberg, A. H. S. (2005). "Oil spill detection by satellite remote sensing." *Remote Sensing of Environment*, 95(1), 1–13.
- Culander, J. C., and McDonough, R. N. (1991). *Synthetic Aperture Radar Systems and Signal Processing*. (J. A. Kong, ed.), John Wiley & Sons, Inc, Toronto.
- Gade, M., Hühnerfuss, H., and Korenowski, G. M. (2006). *Marine surface films: Chemical characteristics, influence on air-sea interactions and remote sensing*. Springer Berlin, Hamburg.
- Girard-ardhuin, F., Mercier, G., Collard, F., and Garello, R. (2005). "Operational Oil-Slick Characterization by SAR Imagery and Synergistic Data." *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 30, 487–494.
- Horstmann, J., Lehner, S., Koch, W., and Tonboe, R. (2000). "Computation of Wind Vectors over the Ocean Using Spaceborne Synthetic Aperture Radar." *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 21, 104.
- Jones, B. (2001). "A comparison of visual observations of surface oil with Synthetic Aperture Radar imagery of the Sea Empress oil spill." *International Journal of Remote Sensing*, 22(9), 1619–1638.

- Misra, A., and Balaji, R. (2017). "Simple Approaches to Oil Spill Detection Using Sentinel Application Platform (SNAP)-Ocean Application Tools and Texture Analysis: A Comparative Study." *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Springer India, 45(6), 1065–1075.
- Richards, J. A. (2009). *Remote Sensing with Imaging Radar*. Springer Berlin, Canberra.
- Romano, J. C. (1996). "Sea-surface slick occurrence in the open sea (Mediterranean, Red Sea, Indian Ocean) in relation to wind speed." *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*.
- Talley, L. D., Pickard, G. L., Emery, W. J., and Swift, J. H. (2011). *Descriptive physical oceanography: An introduction: Sixth edition*. Elsevier Ltd., London.
- Thorpe, S. A. (2009). *Elements of Physical Oceanography*. (J. H. Steele and K. K. Turekian, eds.), Elsevier Ltd., San Diego.
- Topouzelis, K. N. (2008). "Oil Spill Detection by SAR Images: Dark Formation Detection, Feature Extraction and Classification Algorithms." *Sensors*, 8, 6642–6659.
- Xing, Q., Li, L., Lou, M., Bing, L., Zhao, R., and Li, Z. (2015). "Observation of Oil Spills through Landsat Thermal Infrared Imagery: A Case of Deepwater Horizon." *Aquatic Procedia*, Elsevier B.V., 3, 151–156.